УДК 681.518

С.І. КОНДРАШОВ, д-р. техн. наук, ***І.В. ГРИГОРЕНКО***,
М.С. ТЮРІН (м.Харків)

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ КОРЕКЦІЇ ДИНАМІЧНОЇ ПОХИБКИ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ ПРИ НЕЛІНІЙНІЙ МОДЕЛІ ЗМІНИ ВХІДНОГО СИГНАЛУ

Визначено можливість корекції динамічних похибок систем тестового контролю вимірювальних перетворювачів у автоматизованих системах контролю та керування при нелінійній моделі зміни вхідного сигналу. Загальні моделі конкретизовано для вимірювального перетворювача з передаточною функцією інерційної аперіодичної ланки.

This article determines the possibility of the correction of dynamic error for the measuring transducer test control systems in automatic test equipment considering non-linear input signal. Generalized models are defined concretely for measuring transducer with aperiodic transfer function.

Основною задачею тестового контролю у динамічному режимі є визначення вимірюваної величини на вході ВП за вимірюваним вихідним сигналом та відомій або вимірюваній динамічній характеристиці ВП. По суті, рішення цієї задачі призводить до необхідності корекції часових динамічних складових похибок, які можуть розглядатися як режимні складові похибок випробувань.[1]

Для вирішення цієї задачі потрібно визначити моделі вимірювальних вхідних та вихідних сигналів ВП, можливі підходи до їх аналітичного опису, а також моделі передаточних функцій лінійних ВП.

У роботі [2] розроблено математичну модель для вхідного сигналу вимірювального перетворювача (ВП) з аперіодичної передаточною функцією, та проведено дослідження похибок вимірювання вхідного сигналу ВП у динамічному режимі роботи системи тестового контролю. Однак вхідний сигнал ВП було представлено лише як лінійно наростаючий сигнал. На практиці маємо справу з нелінійними сигналами, серед яких найбільш часто використовуються сигнали, що мають вигляд експоненти з різними швидкостями наростання. Також не зроблено рекомендацій, що до можливостей використання теорії тестового контролю при нелінійному законі зміни вхідного сигналу.

Метою роботи є аналіз динамічних складових похибок тестового контролю при нелінійних моделях вхідних сигналів.

Експоненційний вхідний сигнал може бути розкладений у ряд Тейлора, що дозволить розглядати вхідний сигнал з різною точністю при апроксимації його різною кількістю членів ряда.

Обмежимося першими двома членами ряда Тейлора – лінійним і квадратичним.

Як модель аналогової частини вимірювального каналу використаємо аперіодичну ланку першого порядку з передаточної функцією:

$$H(P) = \frac{1}{\tau \cdot P + 1}, \qquad (1)$$

де τ – постійна часу.

На діючій сигнал будемо накладати адитивний та мультиплікативний тестові впливи, які уявляють собою систему двох імпульсів.

Для визначення вихідного сигналу аналогової частини необхідно провести операцію згортки вхідного сигналу з перехідною характеристикою аперіодичної ланки. Загальноприйнятий спосіб – проводити операції над зображеннями функцій за перетворенням Лапласа.

Модель нелінійного вхідного сигналу:

$$\begin{aligned} &x_0(t_0) = x(0) + \alpha \cdot t_0 + \beta \cdot t_0^2, \ \ \mathrm{t}_0 \in (0,\ T) \\ &x_1(t_1) = x(0) + \alpha \cdot t_1 + \beta \cdot t_1^2 + \theta \cdot 1(t_1), \ \ \mathrm{t}_1 \in (T,\ 2T) \\ &x_2(t_2) = x(0) + \alpha \cdot t_2 + \beta \cdot t_2^2 + K\left(x(0) + \alpha \cdot t_2 + \beta \cdot t_2^2\right) \cdot 1(t_2), \ \ \mathrm{t}_2 \in (2T,\ 3T) \end{aligned} \qquad (2)$$

де $x(0)$ – значення сигналу на початку контролю, $\alpha \cdot t + \beta \cdot t^2$ – нелінійний сигнал, θ – рівень адитивного тестового впливу, t_1 – час дії адитивного тестового впливу, K – коефіцієнт підсилення при мультиплікативному тестовому впливі, t_2 – час дії мультиплікативного тестового впливу, $T = t_2 - t_1 = t_1 - t_0$ – період між включенням тестів, вибирається з діапазону 3τ..10τ

Для того, щоб отримати аналітичний вираз вихідних сигналів, запишемо зображення вхідних сигналів за допомогою перетворення Лапласа. Потім помножимо ці зображення на перехідну характеристику та проведемо зворотне перетворення Лапласа.

Модель нелінійного вхідного сигналу в операторній формі:

$$\begin{aligned} &X_0(P) = \frac{x(0)}{P} + \frac{\alpha}{P^2} + \frac{2\beta}{P^3} \\ &X_1(P) = \frac{x(0)}{P} + \frac{\alpha}{P^2} + \frac{2\beta}{P^3} + \theta \frac{e^{-TP}}{P} \\ &X_2(P) = \frac{x(0)}{P} + \frac{\alpha}{P^2} + \frac{2\beta}{P^3} + K \cdot \frac{x(0)}{P} + K \cdot \alpha \cdot \frac{e^{-2TP}}{P^2} + K \cdot \beta \cdot 2 \frac{e^{-2TP}}{P^3} \end{aligned} \qquad (3)$$

Отримані зображення сигналів перемножимо з перехідною функцією лінії зв'язку та проведемо над добутком зворотне перетворення Лапласа.

$$y_0(t_0)=x(0)(1-e^{-\frac{t_0}{\tau}})+\alpha(t_0-\tau+\tau\cdot e^{\frac{-t_0}{\tau}})+2\beta(\frac{t_0^2}{2}-t_0\cdot\tau+\tau^2-\tau^2\cdot e^{\frac{-t_0}{\tau}})$$

$$y_1(t_1)=x(0)(1-e^{-\frac{t_1}{\tau}})+\alpha(t_1-\tau+\tau\cdot e^{\frac{-t_1}{\tau}})+2\beta(\frac{t_1^2}{2}-t_1\cdot\tau+\tau^2-\tau^2\cdot e^{\frac{-t_1}{\tau}})+$$

$$+\theta\cdot 1(t_1-T)\cdot(1-e^{\frac{T-t_1}{\tau}}) \tag{4}$$

$$y_2(t_2)=x(0)(1-e^{-\frac{t_2}{\tau}})+\alpha(t_2-\tau+\tau\cdot e^{\frac{-t_2}{\tau}})+2\beta(\frac{t_2^2}{2}-t_2\cdot\tau+\tau^2-\tau^2\cdot e^{\frac{-t_2}{\tau}})+$$

$$+K\cdot x(0)(1-e^{-\frac{t_2}{\tau}})+K\cdot\alpha\cdot 1(t_2-2T)(t_2-\tau-2T+\tau e^{\frac{2T-t_2}{\tau}})+$$

$$+K\cdot\beta\cdot 1(t_2-2T)(-t_2^2+2\cdot t_2\cdot\tau-2\cdot\tau^2-T^2+2\cdot T\cdot\tau+2\cdot\tau^2\cdot e^{\frac{2T-t_2}{\tau}})$$

Запишемо системи різницевих рівнянь для отриманих моделей вихідних сигналів:

$$\begin{cases}
\Delta y_{10}\left(t_1,t_0\right)=\alpha[t_1-t_0+\tau(e^{-\frac{t_1}{\tau}}-e^{-\frac{t_0}{\tau}})]+\\
+2\beta[\frac{t_1^2-t_0^2}{2}-\tau\left(t_1-t_0\right)-\tau^2(e^{-\frac{t_1}{\tau}}-e^{-\frac{t_0}{\tau}})]+\theta\cdot 1(t_1-T)\cdot(1-e^{\frac{T-t_1}{\tau}})\\
\Delta y_{20}\left(t_2,t_0\right)=\alpha[t_2-t_0+\tau(e^{-\frac{t_2}{\tau}}-e^{-\frac{t_0}{\tau}})]+\\
+2\beta[\frac{t_2^2-t_0^2}{2}-\tau\left(t_2-t_0\right)-\tau^2(e^{-\frac{t_2}{\tau}}-e^{-\frac{t_0}{\tau}})]+\\
+K\cdot x(0)(1-e^{-\frac{t_2}{\tau}})+K\cdot 1(t_2-2T)\cdot\alpha(t_2-\tau-2T+\tau e^{\frac{2T-t_2}{\tau}})+\\
+K\cdot 1(t_2-2T)\cdot\beta(-t_2^2+2\cdot t_2\cdot\tau-2\cdot\tau^2-T^2+2\cdot T\cdot\tau+2\cdot\tau^2\cdot e^{\frac{2T-t_2}{\tau}})
\end{cases} \tag{5}$$

Запишемо різницеві рівняння відносно тестових впливів і розділимо друге рівняння на перше:

$$\theta\cdot 1(t_1-T)\cdot(1-e^{\frac{T-t_1}{\tau}})=\Delta y_{10}\left(t_1,t_0\right)-\alpha[t_1-t_0+\tau(e^{-\frac{t_1}{\tau}}-e^{-\frac{t_0}{\tau}})]-$$

$$-2\beta[\frac{t_1^2-t_0^2}{2}-\tau\left(t_1-t_0\right)-\tau^2(e^{-\frac{t_1}{\tau}}-e^{-\frac{t_0}{\tau}})]$$

$$K\cdot x(0)(1-e^{-\frac{t_2}{\tau}})=\Delta y_{20}\left(t_2,t_0\right)-\alpha[t_2-t_0+\tau(e^{-\frac{t_2}{\tau}}-e^{-\frac{t_0}{\tau}})]-$$
$$-2\beta[\frac{t_2^2-t_0^2}{2}-\tau\left(t_2-t_0\right)-\tau^2(e^{-\frac{t_2}{\tau}}-e^{-\frac{t_0}{\tau}})]-$$
$$-K\cdot 1(t_2-2T)[\alpha(t_2-\tau-2T+\tau e^{\frac{2T-t_2}{\tau}})+$$
$$+\beta(-t_2^2+2\cdot t_2\cdot\tau-2\cdot\tau^2-T^2+2\cdot T\cdot\tau+2\cdot\tau^2\cdot e^{\frac{2T-t_2}{\tau}})] \qquad (6)$$

Тепер виділимо динамічні складові похибок δ_{dyn1} і δ_{dyn2}:

$$\frac{\theta}{K\cdot x(0)}=\frac{\Delta y_{10}\left(t_1,t_0\right)}{\Delta y_{20}\left(t_2,t_0\right)}\cdot\frac{\delta_{dyn1}}{\delta_{dyn2}} \qquad (7)$$

$$\delta_{dyn1}=(\Delta y_{10}\left(t_1,t_0\right)-\alpha[t_1-t_0+\tau(e^{-\frac{t_1}{\tau}}-e^{-\frac{t_0}{\tau}})]-2\beta[\frac{t_1^2-t_0^2}{2}-\tau\left(t_1-t_0\right)-$$
$$-\tau^2(e^{-\frac{t_1}{\tau}}-e^{-\frac{t_0}{\tau}})])\times(1-e^{-\frac{t_2}{\tau}})\cdot\Delta y_{10}^{-1}\left(t_1,t_0\right) \qquad (8)$$

$$\delta_{dyn2}=[\Delta y_{20}\left(t_2,t_0\right)-\alpha[t_2-t_0+\tau(e^{-\frac{t_2}{\tau}}-e^{-\frac{t_0}{\tau}})]-$$
$$-2\beta[\frac{t_2^2-t_0^2}{2}-\tau\left(t_2-t_0\right)-\tau^2(e^{-\frac{t_2}{\tau}}-e^{-\frac{t_0}{\tau}})]-K\cdot 1(t_2-2T)\times$$
$$\times[\alpha(t_2-\tau+(\tau-2T)e^{\frac{2T-t_2}{\tau}})+\beta(t_2^2-2\cdot t_2\cdot\tau+$$
$$+2\cdot\tau^2+(4T^2-4\cdot T\cdot\tau+2\cdot\tau^2)\cdot e^{\frac{2T-t_2}{\tau}})]]\times 1(t_1-T)\cdot(1-e^{\frac{T-t_1}{\tau}})\Delta y_{20}^{-1}\left(t_2,t_0\right) \qquad (9)$$

Висновки: 1. З проведеного аналізу слідує, що методику оцінки динамічних похибок на підставі реляційно-різницевої моделі, що запропонована у [2] можна використовувати не тільки при лінійній моделі вхідного сигналу, але й при нелінійній. 2. Наведено формули для оцінки динамічної складової похибки.

Список літератури: **1.** *Кондрашов С.І.* Методи підвищення точності систем тестових випробувань електричних вимірювальних перетворювачів у робочих режимах: Монографія. – Харків.: НТУ "ХПІ", 2004. – 224 с. **2.** *Кондрашов С.І.* Підвищення точності вимірювальних перетворювачів з формуванням у реальних умовах тестових впливів: Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук: 05.11.05 – Харків, 2004. **3.** *Араманович И.Г. ,Лунц Л.Г., Эльсгольц Л.Э.* Функции комплексного переменного. Операторные исчисления. Теория устойчивости. – М.: Наука, 1965.-392с.